



УКРАЇНА

(19) UA (11) 55633 (13) U
(51) МПК (2009)
H02M 3/22

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ РЕГУЛЮВАННЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ

1

2

(21) u201004685

(22) 20.04.2010

(24) 27.12.2010

(46) 27.12.2010, Бюл. № 24, 2010 р.

(72) НІКІТИНА ОЛЕНА ВОЛОДИМИРІВНА, ПАВЛОВ
ГЕННАДІЙ ВІКТОРОВИЧ, ОБРУБОВ АНДРІЙ ВА-
ЛЕРІЙОВИЧ, ПОКРОВСЬКИЙ МИХАЙЛО ВОЛО-
ДИМИРОВИЧ, ЩЕРБИНІН ТИМОФІЙ ВОЛОДИ-
МИРОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕ-
БУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

(57) Спосіб регулювання вихідних параметрів ре-
зонансного перетворювача постійної напруги, згід-

но з яким напругу інвертують на транзисторному
мості двомостового перетворювача з наступним
випрямленням на діодному мості та згладжуван-
ням на фільтруючих елементах, який **відрізня-**
ється тим, що регулювання вихідних параметрів
резонансного перетворювача постійної напруги
здійснюють шляхом зміни тривалості прямої фази
перетворення за рахунок введення фазового зсуву
між струмом в резонансному контурі і напругою
інвертора, формування фазового зсуву при цьому
має бути синхронізовано з переходом резонансно-
го струму через нуль.

Корисна модель відноситься до перетворюва-
льної техніки в галузі електрообладнання, зокрема
до способів регулювання вихідних параметрів ре-
зонансних перетворювачів, та може бути застосо-
вана для регулювання вихідних параметрів резо-
нансних перетворювачів у різноманітних
перетворювальних системах.

Широко відомий широтний спосіб регулювання
вихідних параметрів резонансних перетворювачів
(РП), який полягає у зміні тривалості підключення
навантаження інвертора до джерела живлення
при стабільній частоті комутації [Кулик В.Д. спосо-
бы и устройства широтного регулирования напря-
жения резонансных тиристорных инверторов // *Электричество*. - 1975. - №9. - с. 57-60]. Даний
спосіб характеризується великими динамічними
втратами потужності на силових ключах внаслідок
неоптимальних умов комутації (перемикання ключів
не тільки в нулі струму або напруги) та можли-
вістю появи циркуляційних струмів, що призводить
до зниження ККД пристрою.

Найбільш поширеним є частотний спосіб регу-
лювання вихідних параметрів РП, який полягає у
зміні частоти комутації силових ключів при зміні
вхідної напруги або струму навантаження інверто-
ра [Павлов Г.В., Обрубов А.В., Покровський М.В.
Резонансні перетворювачі в пристроях суднової
автоматики і системах управління./за ред. Г.В.
Павлова - Миколаїв, УДМТУ. - 2003р - с.14-17].

Характерними для даного способу є значне обме-
ження діапазону регулювання, неоптимальні умо-
ви комутації при значному відхиленні від номіна-
льної комутаційної частоти, значна нелінійність
регульовальної характеристики. Ці особливості не
дозволяють використовувати можливості РП у
широкому діапазоні регулювання, значно зменшу-
ють його ефективність та ККД.

Найбільш близьким до запропонованого техні-
чного рішення є релейний спосіб регулювання ре-
зонансних перетворювачів [Патент на корисну
модель UA №45315 H02M3/22, бюл. №21,
10.11.2009], за яким регулювання вихідних пара-
метрів резонансного перетворювача постійної на-
пруги здійснюють за допомогою мікроконтролерної
системи управління шляхом циклічної зміни еле-
ментарних алгоритмів комутації ключів синхронно
із переходом резонансного току через нуль при
частоті комутації силових ключів, рівній резонанс-
ній частоті контуру. Даний спосіб дозволяє суттєво
зменшити комутаційні втрати, але припускає наяв-
ність безструмових пауз, що вимагає збільшення
номіналів реактивних елементів вихідного фільтра
а, отже, збільшує габарити перетворювача.

В основу корисної моделі покладено задачу
вдосконалення способу регулювання вихідних
параметрів РП постійної напруги, в якому шляхом
регулювання зміною тривалості прямої фази пере-
творення за рахунок введення фазового зсуву між

(13) U
(11) 55633
(19) UA

струмом в резонансному контурі і напругою інвертора уникають беструмових пауз, що дозволяє зменшити масогабаритні показники перетворювача.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі регулювання вихідних параметрів резонансного перетворювача постійної напруги, за яким напругу інвертують на транзисторному мості двомостового перетворювача з наступним випрямленням на діодному мості та згладжуванням на фільтруючих елементах, згідно з пропозицією, регулювання вихідних параметрів резонансного перетворювача постійної напруги здійснюють за допомогою мікроконтролерної системи управління шляхом зміни тривалості прямої фази перетворення за рахунок введення фазового зсуву між струмом в резонансному контурі і напругою інвертора. Формування фазового зсуву при цьому має бути синхронізовано з переходом резонансного струму через нуль.

Регулювання вихідних параметрів за рахунок введення фазового зсуву між струмом в резонансному контурі і напругою інвертора дозволяє зменшити комутаційні втрати шляхом забезпечення оптимальних умов комутації силових вентилів у всьому діапазоні регулювання і суттєво (на 30% і більше) розширити діапазон регулювання, оскільки синхронізація процесів управління з переходом резонансного струму через нуль дає можливість максимально наблизити нижній поріг регулювання до резонансної частоти навіть за умов її нестабільності. Це досягається за рахунок автоматичного вимірювання резонансної частоти за сигналами синхронізації. Частота перетворення при даному способі регулювання залежить від величини фазового зсуву, а її зміна визначає зміну вихідної напруги (зменшення вихідної напруги із зростанням частоти перетворення). При цьому відсутнє затухання коливань резонансного струму, а, отже, й беструмові паузи. Застосування мікроконтролерної системи управління дозволяє уникнути ускладнення конструкції силових частини перетворювача, що спрощує його впровадження на виробництві. При застосуванні запропонованого способу регулювання в залежності від необхідної напруги на навантаженні та величини похибки системи (різниці між заданою та дійсною напругами на навантаженні) визначається необхідна величина фазового зсуву між струмом в резонансному контурі і напругою інвертора. Дана величина виражається у тактових періодах керуючого мікроконтролера та відраховується за допомогою вбудованого таймера-лічильника. За перериванням по переповненню таймера-лічильника відбувається комутація силових вентилів мосту інвертора. Оскільки величина вихідної напруги перетворювача при застосуванні даного способу регулювання залежить від величини фазового зсуву між струмом в резонансному контурі і напругою інвертора, для зручності запропонований спосіб було вирішено назвати фазовим способом регулювання вихідних параметрів РП.

На фіг.1 подано блок-схему перетворювальної системи на основі послідовно-паралельного резонансного перетворювача (ППРП) постійної напруги із мікроконтролерною системою управління, на

фіг. 2 подано структурну схему, що пояснює алгоритм роботи системи управління, на фіг.3 – осцилограми резонансного струму та напруги інвертора для величини фазового зсуву $\psi = 105^\circ$ та частоти перетворення $f \approx 65$ кГц, на фіг. 4 - осцилограми резонансного струму та напруги інвертора для величини фазового зсуву $\psi = 100^\circ$ та частоти перетворення $f \approx 80$ кГц.

ППРП із фазовим способом регулювання вихідних параметрів у загальному вигляді може бути поданий як сукупність джерела ЕРС 1, підключеного до керованого транзисторного моста інвертора 2, резонансного контура, сформованого послідовно-паралельним з'єднанням резонансної індуктивності 3 та резонансних ємностей 4 та 5, втрати потужності на яких ураховуються в активному опорі 6, з включеним послідовно датчиком резонансного струму 7, підключеного послідовно до транзисторного моста 2 та діодного моста випрямляча 8, фільтруючої ємності 9 та навантаження 10, з'єднаних паралельно, датчика напруги на навантаженні 11, та системи управління, яка містить аналоговий ПІД-регулятор на операційному підсилювачі 12, мікроконтролер 13.

Для експериментального пристрою обраний мікроконтролер ATmega16 сімейства AVR фірми Atmel, в мостах застосовані силові IGBT-транзистори типу IRG4BC30UD із зворотніми діодами та драйверами в інтегральному виконанні, силові діоди КД29981, резонансна ємність набрана з силових конденсаторів КВИ-3. Аналоговий ПІД-регулятор зібрано на операційному підсилювачі К553УД2.

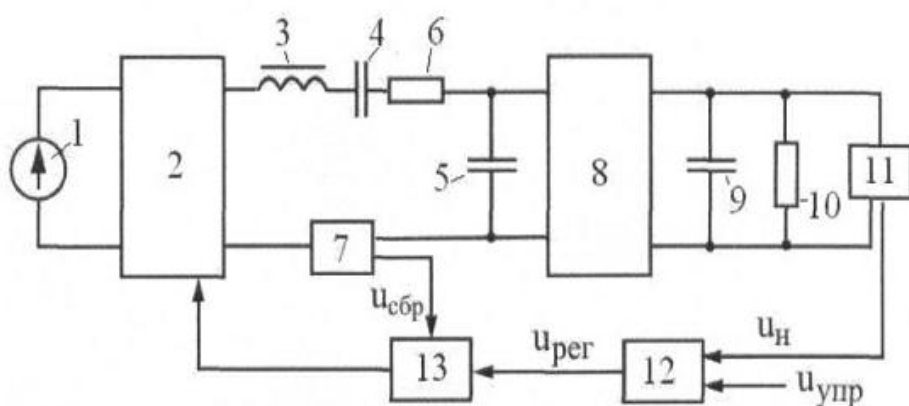
Запропонований спосіб полягає у тому, що постійну напругу, яка подається від джерела 1, інвертують на транзисторному мості 2 із підключеним послідовно-паралельним резонансним контуром, утвореним послідовним з'єднанням резонансної індуктивності 3 та резонансної ємності 4 із підключеною паралельно другою резонансною ємністю 5, втрати потужності на яких ураховуються в активному опорі 6, потім випрямляють на діодному мості 8 та згладжують на фільтруючій ємності 9. Згладжену напругу подають на навантаження 10. На аналоговий ПІД-регулятор 12 поступають сигнали уставки напруги $U_{\text{упр}}$ та реальної напруги на навантаженні U_n . На виході регулятора формується величина U_{ref} , яка відповідає необхідній величині фазового зсуву. Відлік фазового зсуву здійснюють мікроконтролером 13 та починають за фронтом сигналу від датчика резонансного струму 7 $U_{\text{сбр}}$, який позначає момент переходу резонансного струму через нуль. Як можна побачити на фіг.2, вбудований таймер-лічильник 1 підраховує кількість тактових імпульсів мікроконтролера за півперіод перетворення, тобто за час між двома фронтами сигналу від датчика струму 7 (фіг. 1). За кожним фронтом даного сигналу відбувається запис відліченої величини N у регістр 2 та обнуління таймера-лічильника 1. Величина, що зберігається в регістрі, помножується у блоці множення 3 на величину U_{ref} , яка являє собою фазовий зсув у відсотках від півперіода перетворення. Результат множення дає величину фазового зсуву в тактових

імпульсах мікроконтролера, яка записується до регістру 4. Величина, яка зберігається у регістрі 4, за кожним фронтом тактових імпульсів мікроконтролера порівнюється із поточним значенням таймера-лічильника у блоці порівняння 5. За рівності двох величин блок 5 формує на виході сигнал високого рівня (логічна одиниця), який дозволяє зміну стану Т-тригера 6. Інверсія виходу Q тригера 6 призводить до комутації силових ключів інвертора.

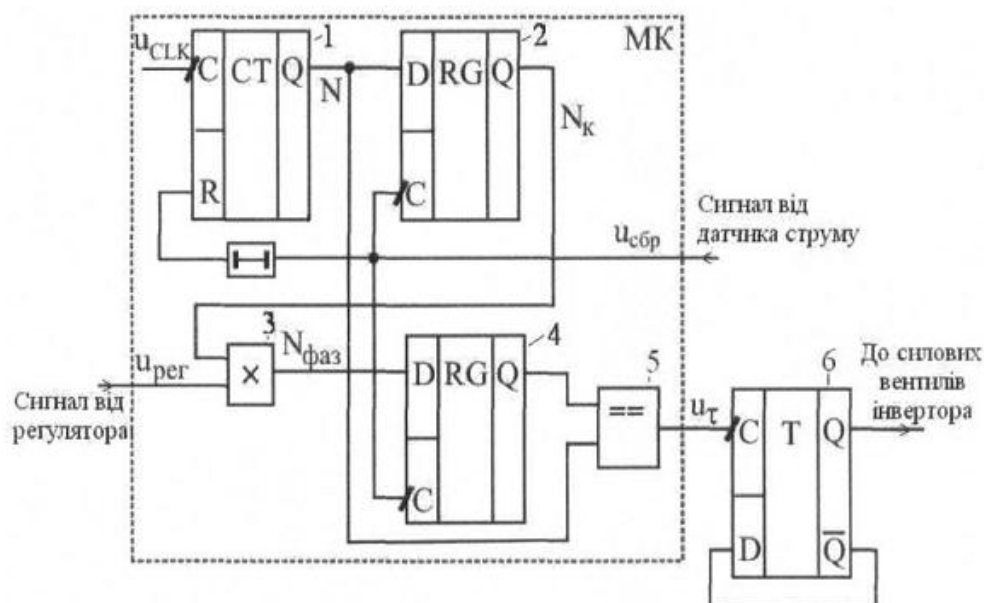
Експериментальний зразок системи керування, побудований на основі мікроконтролера ATmega16 сімейства AVR, дозволив виконувати комутацію ключів з частотою до 180кГц. На фіг.3 та фіг. 4 подано експериментальні осцилограми, отримані при наступних параметрах: часова шкала

- 5мкс/поділ., резонансний струм - 5А/поділ., напруга інвертора - 100В/поділ. Як можемо бачити з наведених фігур, коливання резонансного струму є неперервними в усьому діапазоні регулювання, тоді як у прототипа спостерігалось входження перетворювача у безструмові паузи.

Таким чином, застосування фазового способу регулювання вихідних параметрів РП постійної напруги, реалізованого за допомогою мікроконтролерної системи управління, дозволяє уникнути безструмових пауз в усьому діапазоні регулювання, як можемо бачити з порівняння фіг.5 та фіг.6, що дозволяє зменшити номінали елементів вихідного фільтра, тим самим зменшуючи масогабаритні показники перетворювача на 10-15%.



Фіг. 1



Фіг. 2

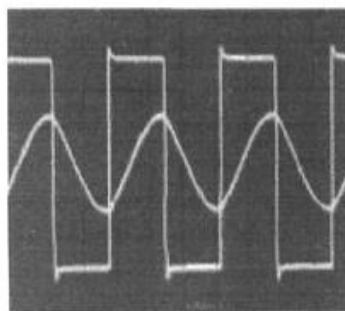


Fig. 3

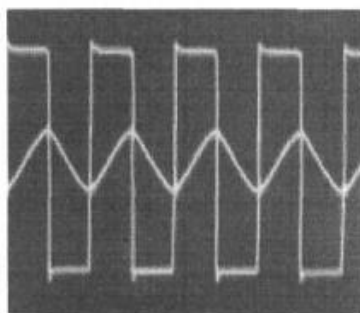


Fig. 4